

废弃共享单车回收治理的多主体博弈演化

司红运¹, 施建刚¹, 吴光东², 王欢明³

(1.同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 2.重庆大学 公共管理学院, 重庆 400044;
3.大连理工大学 公共管理与法学学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 随着共享单车在中国各城市的陆续投放, 其产业链中下游的回收与转化问题已成为目前亟待解决的难题。借鉴国内外固体和电子电器废弃物回收经验, 提出生产责任延伸制(EPR)与征收环保税两种回收治理模式, 通过构建政府、企业和消费者的三方演化博弈模型并借助系统动力学仿真方法, 对两种模式下废弃共享单车回收的多主体博弈治理过程进行模拟仿真, 分析各方主体的演化均衡策略及最优治理路径。研究表明: 三方主体最终将达到政府停止监管、企业选择生产责任延伸制模式、消费者参与回收的均衡状态; 外生变量(消费者补贴、环保税和企业回收转化收益)对主体策略选择有显著的影响, 且敏感程度依次增强。认为: 在现阶段, 政府在加强监管的同时需对共享单车企业强制实施生产者责任延伸制, 使其承担产品从生产使用到废弃物回收处理等阶段所造成的资源和环境责任。单车企业则应通过提供免费骑行次数或提高个人信用等多样化激励方式引导消费者参与回收。

关键词: 共享单车; 废弃回收; 协同治理; 演化博弈; 系统动力学

中图分类号: X734

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2020)01-0109-13

自2015年无桩共享单车(dockless bike sharing)问世以来, 其在全球范围内经历了前所未有的扩张与繁荣。但在过去短短三年内, 中国城市的共享单车项目经历了一正一反的发展过程, 由初始时的政府鼓励、公众叫好和“百花齐放”, 到近期的各大城市强制暂停投放、多数单车企业宣布破产和僵尸车辆废弃物堆积, 共享单车的发展可持续性正受到严峻挑战。据国家信息中心分享经济研究中心统计, 截至2017年底, 国内共享单车保有量超过2 000万辆^[1], 报废后将产生30万吨废金属^[2]。按照共享自行车团体标准和国家强制性标准的明确要求, 共享单车的报废时限为3年, 这意味着中国将迎来大面积的共享单车“报废潮”。与此相伴的是, 由于废弃单车贵金属含量少、回收价格低、转化处理困难, 目前仍旧没有专业的单车处理机构参与回收, 单车企业(如Mobike和ofo)也仅少数能做到对未报废车辆的维修再利用。在此形势下, 未来数年内中国城市将面临大量的废弃共享单车堆积, 导致道路拥挤、资源浪费和环境污染。因此, 寻找到合适有效的共享单车回收治理办法, 是目前亟待解决的问题。

政府层面, 交通部等十个部门于2017年8月联合出台了《关于鼓励和规范互联网租赁自行车发展的指导意见》, 意见在实施鼓励发展政策、规范运营服务行为、保障用户资金和网络信息安全、营造良好发展环境四个方面提出了具体措施, 但是关于废弃共享单车回收处理的问题并未提及。共享单车车身包含智能电子锁、太阳能、电池和电路板等复杂组件^[3], 其废弃物与报废的电子电器设备(Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)极为相似, 均具有拆解难度高、维修难度大、回收价格低、普及范围广、污染程度重等特点, 故可考虑借鉴国内外电子电器废弃物的回收经验治理废弃共享单车。Ino^[4]、Shih^[5]和Wiesmeth等^[6]认为庇古税(Pigovian taxes)和生产责任延伸制(Extended Producer Responsibility, EPR)是环境污染规制的有效手段, 在全世界范围内的电子电器及其他固体废弃物的回收治理中有着广泛且成熟的应用。2016年12月, 《国务院办公厅关于印发生产者责任延伸制度推行方案的通知》明确率先确定对电器电子、汽车、铅酸蓄电池和包装物等四类产品实施生产者责任延伸制度, 在总结试点经验基础上, 适时扩大产品品种和领域^[7]; 2018年1月1日, 被誉为“中国庇古税”的《环境保护税法》正式实施, 其规定向排放环境

收稿日期: 2019-02-17

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“面向绩效的市政公用事业网络策略与治理工具耦合机制研究”(71774023)

作者简介: 司红运(1992—), 男, 博士研究生, E-mail: sihongyun@tongji.edu.cn; 施建刚(1962—), 教授, 博士生导师, E-mail: sjg126com@126.com

污染物的企业事业单位和其他生产经营者征收环境保护税,应税污染物包括大气污染物、水污染物、固体废物和噪声^[8]。以上两个政策表明,对共享单车企业实施生产责任延伸制或征收环境保护税(以下简称环保税)方式均有可能作为其废弃物回收转化问题的治理选择。此外,报废的电子电器设备回收经验表明,消费者作为报废产品的使用和处理主体,其可持续低碳意识和参与回收的行为态度在很大程度上决定着回收效率^[9],考虑到共享单车庞大的投放网络,大量损坏单车停留在偏僻位置,消费者的参与能够极大减轻废弃单车的回收难度。

为寻找到一条适合的废弃共享单车回收治理路径,本研究试图构建环保税与生产责任延伸制两种模式下政府、企业和消费者协同治理的三方演化博弈模型,借助被广泛应用于数值模拟仿真的系统动力学方法,以实际调研数据和计算推理赋予外生变量初值,模拟废弃共享单车回收产业链中各主体的策略变化及交互影响,旨在为政府治理废弃共享单车提供政策参考。

一、文献回顾

历史上最早的共享单车理念要追溯到1965年荷兰阿姆斯特丹推出的“Witte Fietsen”项目,为方便市民的“最后一英里”出行,政府允许人们免费使用街道上的白色自行车。由于完全缺乏有效的安全机制,车辆陆续出现被盗窃和破坏的情况,白色单车项目宣布失败^[10]。直到1998年法国雷恩出现了第三代共享单车项目,配备了专用的停靠站以及信用卡实名支付和GPS定位技术,这一革新促使共享单车项目在全球范围急剧增加^[11]。2004—2014年,运营共享单车的城市从13个增加到855个^[12];截至2018年9月,全球大约已有1780个城市在运营共享单车项目^[13]^[38]。在过去的几十年中,全世界对共享单车出行越来越感兴趣,因为它不仅能够减少温室气体,而且能够提高经济和社会的可持续性。

梳理国外核心文献发现,共享单车的研究主要集中在以下四类主题:一是影响共享单车使用的因素和阻碍,包括但不局限于建筑环境、基础设施、天气、停靠站数量与位置以及软件注册过程等^[14-15];二是共享单车项目的系统优化,包括停靠站或某停靠区域的静态再平衡、动态再平衡和车辆再分配等^[16-17];三是共享单车使用行为及其影响,例如Li等^[18]和Shen等^[19]分别调查了中国和新加坡城市的无桩共享单车使用行为与影响因素;Bullock等^[20]、Zhang和Mi^[21]分别研究了共享单车对城市的经济贡献和环境影响;四是共享单车使用的安全性和所带来的健康收益,在这一领域,Fuller等^[22-23]专注于调查加拿大蒙特利尔实施共享单车项目对用户身体健康的潜在影响。此外,Kaspi^[24]指出在自行车共享系统中,在任何给定时刻,自行车车队的某一部分是无法使用的,这种现象会显著影响服务质量和用户满意度,但到目前为止,这个问题在文献中没有得到任何关注。同样,Wang和Szeto^[13]^[38]在对共享单车系统静态重新定位的研究中发现,尚未有学者考虑损坏废弃的共享单车所带来的环境影响以及如何回收转化的问题。

在国内,共享单车的主流研究倾向于从三个方面探讨中国的无桩共享单车项目。例如,施建刚等^[25-26]、陈传红和李雪燕^[27]从计划行为理论和产品创新扩散理论的视角研究共享单车的使用行为意愿及影响因素;金晶和卞思佳^[28]、郭鹏等^[29]主要考虑利益相关者及宏观挑战层面的共享单车协同治理;王涵宵等^[30]和徐国勋等^[31]则分别构建混合整数规划模型,通过相关算法研究共享单车调配路线的优化问题。国内外文献梳理发现,无桩共享单车的研究领域涉及较为丰富,但主要集中在行为意愿、影响因素与系统调度优化等问题,其产业链末端的废弃物回收处理与转化问题仍处于研究空白。

环境税可溯源到由英国经济学家庇古所提出的庇古税。庇古税是解决环境问题的古典教科书方式,属于直接环境税。它指由于环境污染作为一种负外部性的存在,造成了环境资源配置上的低效率与不公平的本质,使用税收的方法迫使厂商实现外部性的内部化^[32]。即当厂商产生外部社会成本时,政府应当对它施加一项税收,如环境保护税和回收处理费等^[33]^[58-161]。而主张“谁污染谁付费”的生产责任延伸制是要求生产者从销售阶段到整个生命周期管理产品对环境的影响。在产品使用寿命结束时将回收处理的责任从地方当局、纳税人和消费者转移给生产者^[34],被认为是实现产品可持续性发展和循环经济体系建立的重要手段^[35]。同样,共享单车报废产生的垃圾是一种负的外部性,它对社会产生了成本,但目前企业本身却没有承担这一成本。由于外部性的存在,共享单车的持续提供将会超过社会最优水平,故政府应向企业征收相当于其产生的外部性的税收,从而使外部成本内部化。鉴于此,本文考虑将征收环保税和实施生产责任延伸制度同时应用于中国废弃共享单车的回收治理,并基于政府、企业和消费者博弈的视角对废弃共享单车的最优治理路径

进行演化分析。

二、废弃单车回收治理框架与博弈解释

本文所构建的三方博弈模型主要基于三方主体对废弃共享单车回收的参与决策,根据国内外固体和电子电器废物的回收经验,结合中国共享单车发展现状,构建废弃共享单车回收的治理框架,如图1所示。新车投放经用户使用数年后达到报废标准(或由于某些城市的单车投放量过度,城管和街道办等部门清除大量单车使其堆积报废),此时面临两个选择,分别是由政府进行处理或者由单车企业来回收处理。当企业选择不主动回收废弃共享单车时(目前的实际情况),需要承担产品对社会产生的公共环境影响。根据庇古税和中国最新的《环境保护税法》的实施设计^[33]¹⁵⁸⁻¹⁶¹,企业应通过缴纳相应环境保护税以弥补废弃共享单车对环境造成负外部性,然后政府主导并组织相关单位或专业机构对废弃单车进行回收处理。此时企业并没有参与废弃单车的末端治理和生产责任履约,但在政府监管下,高额的环保税通常会促使企业提高生产质量,降低产品废弃率^[36]。在此模式下,政府扮演了回收产业链中的引导者、监管者和执行者三个角色。

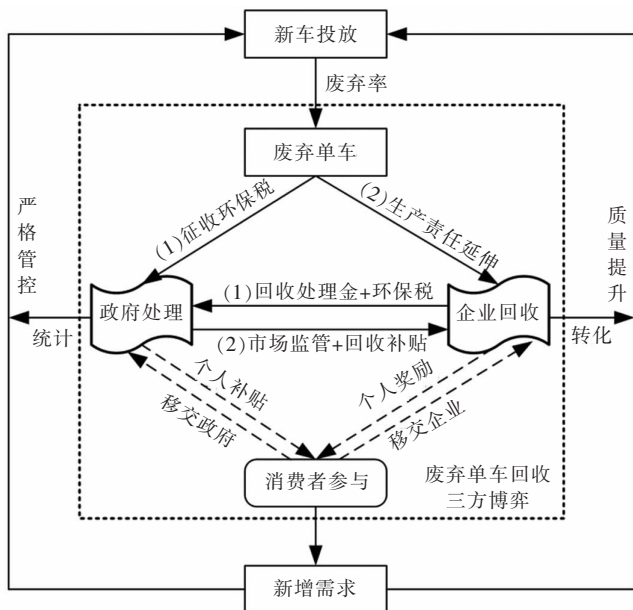


图1 废弃共享单车回收治理框架

而当企业选择生产责任延伸制(或政府强制实施生产责任延伸制)时,这意味着单车企业需承担产品从生产到废弃全生命周期的资源环境责任^[37],从产品全生命周期和循环经济的视角考虑回收和转化废弃单车。在目前阶段下,废弃共享单车的回收转化效益较差,企业不免会出现投机取巧和搭便车行为,故政府在加强监督的同时,应根据单车企业的回收情况给予相应激励和补贴。在此模式下,企业扮演回收产业链中的执行者,政府则扮演回收产业链中的市场监管者,监督单车企业的废弃产品回收行为与市场实际情况。与此同时,政府需要衡量监管成本、企业投机取巧罚金与所带来的社会效益。

对于消费者而言,中国报废家电及车辆“以旧换新”的成功经验表明,消费者是废弃物回收处理再制造与循环经济发展的重要实践力量。在欧洲,电子电器废弃物主要以家庭的形式进行统一回收,家庭作为用户主体,更是回收的主要渠道,他们的参与对电子废弃物的回收、循环和处理有不可忽视的作用^[38],其主要期望收益是降低环境污染和参与回收回报^[39]。这一假设在Mobike单车所推出的“拯救僵尸车”奖励活动中得到论证。无论政府和企业的博弈策略如何,消费者均可选择参与或不参与回收废弃单车。当消费者参与回收时,对应的补贴和奖励分别由回收主导者(政府、专业机构或企业)提供。在此框架下,企业生产的共享单车质量会逐渐提升,共享单车的废弃率不断下降并最终稳定在某一水平。企业回收的废弃单车在技术成熟时获得一定转化效益,三方主体的参与回收策略最终在某一时间趋于稳定。

三、利益相关者参与回收治理的博弈模型构建

为便于全面解释上述利益相关者回收治理的策略选择,本文假设市场中仅存在三个单独的群体——政府、企业和消费者;在初始阶段,三方均有两个博弈选择:政府可选择的策略为监管或不监管,企业可选择的策略为缴纳环保税或生产责任延伸制,消费者可选择的策略为参与回收或不参与回收;每两种策略都是相互排斥的,且每次只能选择一种策略,而三方主体会在每时每刻检验自己的收益,从而决定是否选择改变策略。本文分别用 α 、 γ 和 β 分别表示政府选择监管策略、企业选择缴纳环保税策略、消费者选择参与回收策略的概率,其中, $0 \leq \alpha, \gamma, \beta \leq 1$ 。结合上文中博弈模型的理论分析确定三方涉及的主要博弈参数及其解释,如表1所示。

表1 政府、企业和消费者主要参数涉及

参数	名称	解释
R	回收处理金	当企业选择环保税模式时,除了向政府缴纳环保税外,企业还需缴纳回收处理金。初始阶段WEEE的回收经验表明 ^[40] ,当政府机构主导回收废弃电子产品时,全过程产生的回收成本较高。为降低产品废弃率,防止恶性循环,政府应根据处理数量向企业征收一定的回收处理金
T	环保税	废弃单车对环境造成的负外部性,由企业承担。即政府将废弃共享单车纳入环保税征收范围,以废弃车辆税或其他形式向单车企业征收
K	企业投机取巧罚金	在初始回收阶段,企业在废弃物回收转化过程中难以避免的会出现逆向选择和道德风险行为 ^[41] ,故政府需根据产品价值对企业加以罚金约束
E	环境效益	随着全球环境污染加剧和国民环保意识的提高,消费者的废品回收参与意愿也不断提升。参与回收废弃单车的主要期望首先是收益回报,其次便是能够带来的环境效益,在仿真模拟的研究中常以数值设定表示
I	企业转化效益	即当企业选择生产责任延伸制时,回收的废弃共享单车经拆解处理转换或组合成新车的所节省的成本。据调研发现,现阶段的废弃车转化效益极低
C ₁	政府监管成本	对企业征收环保税和投机取巧罚金均需要政府设立专业机构进行监督管理,在此期间会产生大量的人力、物力等其他监管成本
C ₂	政府处理成本	即在企业选择缴纳环保税时,政府机构回收处理废弃单车所需要的成本,包括运输成本、场地成本、人力和物力成本等费用
C ₃	消费者机会成本	指消费者在参与回收废弃共享单车所占用的时间和精力成本,亦或是参与回收所占用的机会在其他行为活动中可以获得的平均收益
C ₄	企业回收处理成本	指当企业选择生产责任延伸制处理废弃共享单车时,企业回收废弃共享单车所产生的成本,主要包括回收成本、运输成本和转化成本
S ₁	消费者补贴	Mobike在2017年万圣节推出“拯救僵尸车”活动,以现金红包的形式鼓励消费者参与回收废弃的Mobike单车。同样的,在环保税与生产责任延伸制模式下,政府和企业均需要以现金、虚拟福利等方式向消费者提供激励
S ₂	企业补贴	当企业主动选择回收处理时,由于现阶段回收转化难度较大,政府应给予一定补贴以激励企业加强废弃单车的回收力度以及新旧转化技术的革新

根据多利益相关者演化博弈的分析思路^[42-43]以及上文中构建的理论模型,分别列出政府初始时采取监管策略和不监管策略的收益支付矩阵,如表2和表3所示。其中每部分的支付函数依次代表政府、企业和消费者的收益。

表2 政府对企业采取监管策略(α)情景下三方支付矩阵

消费者	企业	
	征收环保税模式(γ)	生产责任延伸制模式(1-γ)
参与回收(β)	(R+T-C ₁ -S ₁ , -R-T, S ₁ +E-C ₃)	(K-C ₁ -S ₂ , I+S ₂ -K-S ₁ -C ₄ , S ₁ +E-C ₃)
不参与回收(1-β)	(R+T-C ₁ -C ₂ , -R-T, 0)	(K-C ₁ -S ₂ , I+S ₂ -K-S ₁ -C ₄ , 0)

表3 政府对企业采取不监管策略(1-α)情景下三方支付矩阵

消费者	企业	
	征收环保税模式(γ)	生产责任延伸制模式(1-γ)
参与回收(β)	(R-C ₂ -S ₁ , -R, S ₁ +E-C ₃)	(-S ₂ , I-S ₁ +S ₂ -C ₄ , S ₁ +E-C ₃)
不参与回收(1-β)	(R-C ₂ , -R, 0)	(-S ₂ , I+S ₂ -K-C ₄ , 0)

本文选用 u_{ij} 表示第 i 个参与主体选择 j 策略时的收益,其中 $i=g, e, c$ 分别表示政府、企业和消费者; $j=1, 2$ 分别表示参与主体的两种策略。例如, u_{e1} 表示企业选择缴纳环保税时的收益; u_{e2} 表示企业选择生产责任延伸制时的收益。根据复制动态模型中的常微分方程算法,对表2和表3中政府的支付函数计算,得到政府选择监督企业的期望收益为

$$u_{g1} = \beta\gamma(R+T-C_1-C_2-S_1) + \beta(1-\gamma)(K-C_1-S_2) + (1-\beta)\gamma(R+T-C_1-C_2) + (1-\beta)(1-\gamma)(K-C_1-S_2) = K-C_1-S_2-\gamma(C_2-S_2+K-R-T+\beta S_1) \tag{1}$$

政府选择不监督企业的期望收益为

$$u_{g2} = \beta\gamma(R-C_2-S_1)\beta(1-\gamma)(-S_2) + (1-\beta)\gamma(R-C_2) + (1-\beta)(1-\gamma)(-S_2) = \gamma(S_2-C_2+R-\beta C_1) - S_2 \tag{2}$$

政府的平均期望收益为

$$\bar{u}_g = \alpha u_{g1} + (1-\alpha)u_{g2} \tag{3}$$

结合式(1)~式(3)计算出政府选择监督企业的复制动态方程

$$\frac{d\alpha}{dt} = \alpha(u_{g1} - \bar{u}_g) = \alpha(1-\alpha)(u_{g1} - u_{g2}) = \alpha(1-\alpha)[(T-K)\gamma + K - C_1] \tag{4}$$

同理,企业选择缴纳环保税并由政府处理废弃共享单车的期望收益为

$$u_{e1}=\alpha\beta(-R-T)+\alpha(1-\beta)(-R-T)+(1-\alpha)\beta(-R)+(1-\alpha)(1-\beta)(-R)=-R-\alpha T \quad (5)$$

企业选择生产责任延伸制模式的期望收益为

$$u_{e2}=\alpha\beta(I+S_2-K-S_1-C_4)+\alpha(1-\beta)(I+S_2-K-S_1-C_4)+(1-\alpha)\beta(I+S_2-K-S_1-C_4)+ \\ (1-\alpha)(1-\beta)(I+S_2-C_4)=S_2-C_4+I-K\alpha-\beta S_1 \quad (6)$$

企业的平均期望收益为

$$\bar{u}_e=\gamma u_{e1}+(1-\gamma)u_{e2} \quad (7)$$

结合式(5)~式(7)可得企业选择环保税模式的复制动态方程

$$\frac{d\gamma}{dt}=\gamma(u_{e1}-\bar{u}_e)=\gamma(1-\gamma)(u_{e1}-u_{e2})=\gamma(1-\gamma)[\alpha(K-T)+\beta S_1+C_4-R-S_2-I] \quad (8)$$

消费者选择参与回收废弃共享单车的期望收益为

$$u_{c1}=\alpha\gamma(S_1+E-C_3)+\alpha(1-\gamma)(S_1+E-C_3)+(1-\alpha)\gamma(S_1+E-C_3)+(1-\alpha)(1-\gamma)(S_1+E-C_3)=S_1+E-C_3 \quad (9)$$

消费者选择不参与回收废弃共享单车的期望收益为

$$u_{c2}=\alpha\gamma(0)+\alpha(1-\gamma)(0)+(1-\alpha)\gamma(0)+(1-\alpha)(1-\gamma)=0 \quad (10)$$

消费者的平均期望收益为

$$\bar{u}_c=\beta u_{c1}+(1-\beta)u_{c2} \quad (11)$$

结合式(9)~式(11)可得消费者选择参与回收的复制动态方程

$$\frac{d\beta}{dt}=\beta(u_{c1}-\bar{u}_c)=\beta(1-\beta)(u_{c1}-u_{c2})=\beta(1-\beta)(S_1+E-C_3) \quad (12)$$

在废弃共享单车回收治理的演化博弈模型中,政府、企业和消费者的复制动态方程涉及不同策略组合的收益与不同策略的比例分布,且相关参数众多,难以求出解析解以及通过分析雅克比矩阵特征值的方法判断均衡解的稳定性。与此对应的是,演化博弈可以预测每个参与人的最终策略,并由一个均衡状态(纳什均衡)来表示,但演化过程中涉及的动态和瞬时转换往往被忽略^[44]。

系统动力学以反馈控制理论为基础,以计算机仿真技术为手段,能有效结合定量和定性分析建立模拟仿真平台,深入研究复杂系统中的信息反馈行为,在系统内部寻找和研究相关影响因素^[45]。为进一步讨论废弃共享单车回收治理过程中政府、企业和消费者之间的协同演化,观察各变量随着三方主体策略变化的趋势,本文引入多变量、高阶次和强非线性的系统动力学模型来模拟三方演化博弈,同时尝试改变相关参数来设定不同情景,观察各主体期望收益的变化,判断影响废弃共享单车回收的最敏感因素。

四、废弃共享单车回收治理博弈的演化仿真

(一)基于系统动力学的博弈仿真模型

为进一步描述博弈三方的动态决策过程,本研究以系统动力学模型描述博弈双方决策过程中的长期演变与趋势。运用 Vensim DSS 软件构建多主体协同回收废弃共享单车的系统动力学演化仿真模型。由上文分析可知系统涉及的主要变量为政府监管的期望收益 u_{g1} 、政府不监管的期望收益 u_{g2} 、企业选择缴纳环保税的期望收益 u_{e1} 、企业选择生产责任延伸制的收益 u_{e2} 、消费者选择参与回收的期望收益 u_{c1} 、消费者选择不参与回收的期望收益 u_{c2} 、政府监管的概率 α 、企业选择缴纳环保税模式的概率 β 、消费者选择参与回收的概率 γ 、政府监管成本 C_1 、政府回收处理成本 C_2 、消费者机会成本 C_3 、企业回收处理成本 C_4 、消费者补贴 S_1 、政府给予企业的补贴 S_2 、政府回收处理金 R 、企业应缴的环保税 T 、企业投机取巧罚金 K 、消费者参与回收所带来的环境效益 E 、企业对废弃共享单车的回收转化收益 I 。

根据政府、企业和消费者的演化博弈分析作出三方协同治理的系统动力学存量流量图,如图2所示。其中,政府监管 α 、企业缴税 γ 和消费者参与回收 β 为3个水平变量,分别为政府监管变化率、企业缴税变化率和消费者参与回收变化率三个速率变量的积分,而政府监管变化率、企业缴税变化率和消费者参与回收变化率又分别对应的是 $\frac{d\alpha}{dt}$ 、 $\frac{d\gamma}{dt}$ 、 $\frac{d\beta}{dt}$, u_{g1} 、 u_{g2} 、 u_{e1} 、 u_{e2} 、 u_{c1} 、 u_{c2} 为系统的中介变量,由式(1)~式(12)作为存量流量图中水平变量、速率变量和中间变量的方程输入,系统中的其他变量为辅助外生变量。

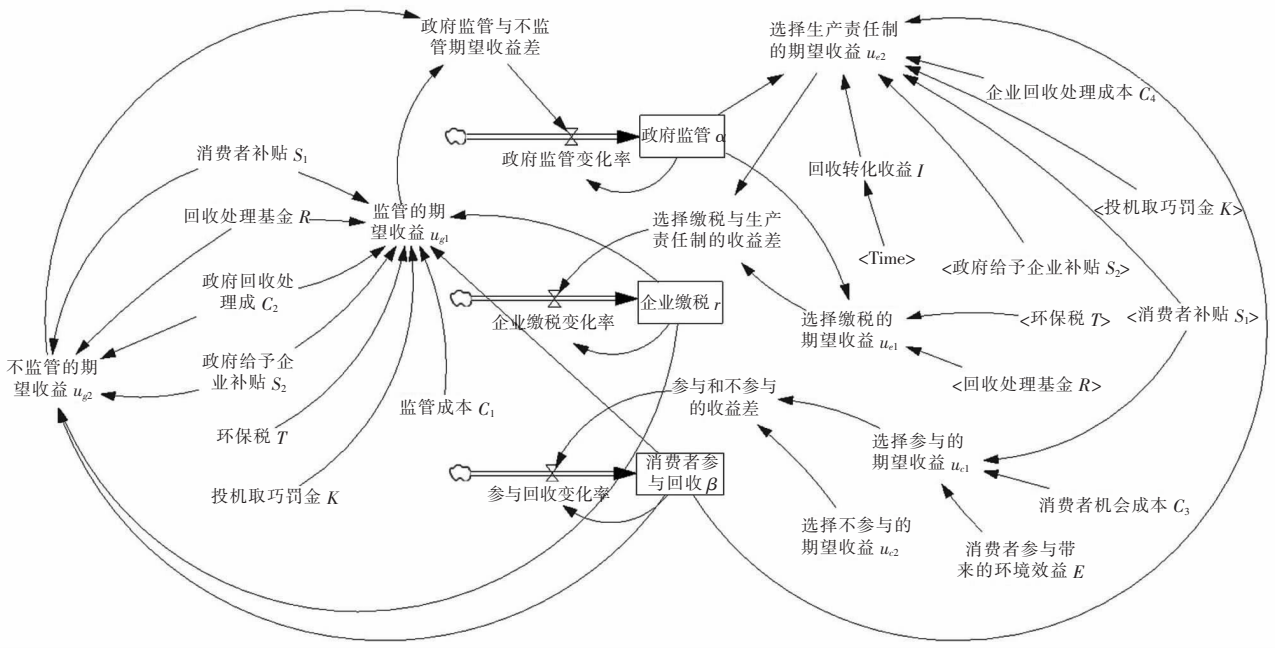


图2 政府、企业和消费者演化博弈的系统动力学仿真模型

约翰·D.斯特曼^[46]指出仿真模型不在于模拟过程有多么真实,而重点在于其有用有效性,在多大程度上揭示出事物变化规律并提供演化趋势的决策参考。申亮和王玉燕^[47]的研究也指出对于系统动力学模型中的仿真参数,在许多情况下缺乏一手的准确资料,系统动力学模型揭示的是整体系统的行为趋势及政策变化的影响,其模型结构的正确性比参数值选择更为重要。尽管如此,在本文的模型构建过程中,外生变量的赋值和校准尽可能依据于事实数据和以往研究经验,旨在更加科学地模拟废弃共享单车回收治理的演化趋势。

模型中外生变量涉及到两类参数,一类是生产回收转化参数,以城市覆盖率和频次最高的 Mobike 单车和 ofo 为例,公开数据显示, Mobike 单车的生产成本在 2 000 元/辆左右, ofo 的成本则较低,在 300 元/辆左右。通过对上海市某废品收购站和共享单车生产代理商的员工综合访谈可知,一辆自行车产生的废旧金属可转化量微乎其微,个别价值较高的电子零件难以有效拆解,回收均价在 5 元左右,而一辆废旧自行车的回收成本平均在 3~4 元之间,且新旧转化收益几乎为零。鉴于此范围,文章设定在企业选择生产责任延伸制的模式下,其回收处理成本 C_4 取假设值 3.6 元/辆,初始时的回收转化收益 I 取假设值 0.01 元/辆。随着政府和社会对于废弃共享单车的重视程度不断加深,企业的回收转化技术会不断革新,故此处暂设定回收转化收益 I 由 0.01 逐渐增加至 3 元/辆(表函数)。为了鼓励企业对废弃共享单车的回收,假设政府给予企业的补贴 S_2 为 0.5 元/辆;而在企业选择缴纳环保税模式,即由政府机构回收处理废弃共享单车时,暂定企业向政府缴纳的回收处理金 R 为 3 元/辆。由于政府机构回收废弃单车时不需要转化处理,且废车金属销售可获得一定收益,故设定此时的政府回收处理成本 C_2 为 1 元/辆。

另一类参数为策略效应变量,即影响双方策略选择的参数变量;根据 WEEE 产品初期的回收经验研究^[48-49],消费者参与回收所产生的环境效益通常与消费者参与回收的机会成本相当,而政府的监管成本略高。基于对上海某街道办工作人员、共享单车运维管理人员和相关领域的专家访谈,本文将政府的监管成本 C_1 设定为 0.8 元/辆,消费者参与回收的机会成本 C_3 和对消费者的补贴 S_1 均设定为 0.6 元/辆。对消费者而言,假设其参与回收一辆废弃共享单车产生的环境效益 E 为 0.5 元/辆,由于企业应缴纳的环保税(外部成本)通常为环境污染所需治理成本的两倍以上,故本文设定环保税为回收一辆废弃共享单车产生环境效益的两倍,即 $T=1$ 元/辆。根据生产者延伸制实施案例的研究^[50],企业在回收转化过程中难以避免会出现逆向选择和道德风险行为,故应根据产品价值加以罚款约束,考虑到中国法制社会的健全和监管机制的完善,可持续发展企业 Mobike 和 ofo 违规的频率较低,故此处暂设定投机取巧罚金 K 为 0.3 元/辆。

(二) 博弈策略演化仿真

政府、企业和消费者三方博弈主体的策略选择均有两种(政府选择监管策略或不监管、企业选择缴纳环保税策略或生产责任延伸制、消费者选择参与回收或不参与回收策略),用 1 和 0 来表示可组成(0,0,0)、

(0,1,0)、(0,0,1)、(0,1,1)、(1,0,0)、(1,1,0)、(1,0,1)、(1,1,1) 8种策略组合。如前文所讲, α 、 γ 和 β 分别表示政府选择监管策略、企业选择缴纳环保税策略、消费者选择参与回收策略的概率,且有 $0 \leq \alpha, \gamma, \beta, 1$,故(0,0,0)代表政府选择不监管、企业选择缴纳生产责任延伸制、消费者选择不参与回收的策略组合。本文设定系统的模拟周期为60个月,软件运行发现,以上述8种策略组合为初始策略的系统状态不会发生任何变化。但是当对任一主体的策略作出微小调整时,系统的均衡状态便会被打破。在目前媒体呼吁、社会需求以及废弃共享单车亟待治理的情况下,政府、企业和消费者均有改变现状的意愿。为了准确把握三方的初始状态,本文使各主体的初始策略均作出微小改变。比如,设定初始策略(0,0,0)的值为(0.01,0.01,0.01),同样,设定初始策略(1,1,1)的值为(0.99,0.99,0.99)。在图3~图16中,横坐标均代表时间,纵坐标则表示某一主体策略选择的概率。需要注意的是,之所以选择以政府是否监管为策略切入点,是因为本文在先前排列三位主体的策略时一直将政府置于首位,倘若以消费者或企业的策略为切入点进行分析,所得到的8种策略组合及其仿真路径与图3~图10是相同的。

1. 不监管的政府初始策略

情景G1:政府的初始策略为不监管,即政府初始时有极弱的监管意愿0.01。此情景下,政府、企业和消费者有(0,0,0)、(0,1,0)、(0,0,1)、(0,1,1)四种初始策略组合,对应三方主体的行为策略演变过程分别如图3~图6所示。

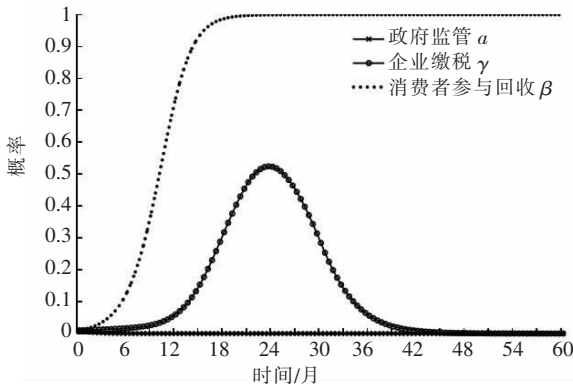


图3 初始策略组合为(0,0,0)时的行为演变

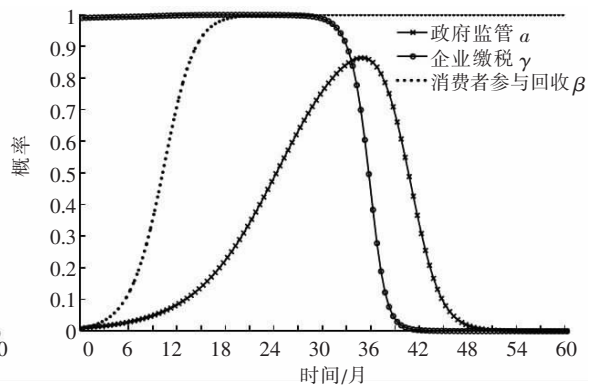


图4 初始策略组合为(0,1,0)时的行为演变

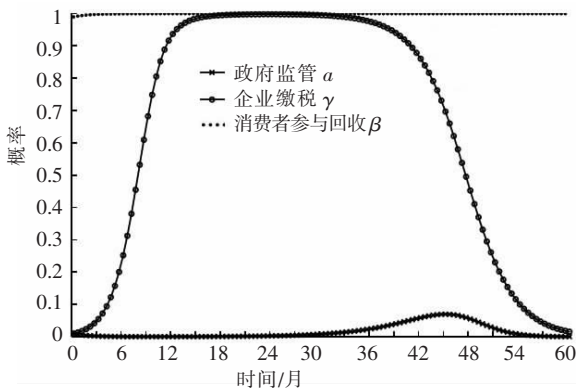


图5 初始策略组合为(0,0,1)时的行为演变

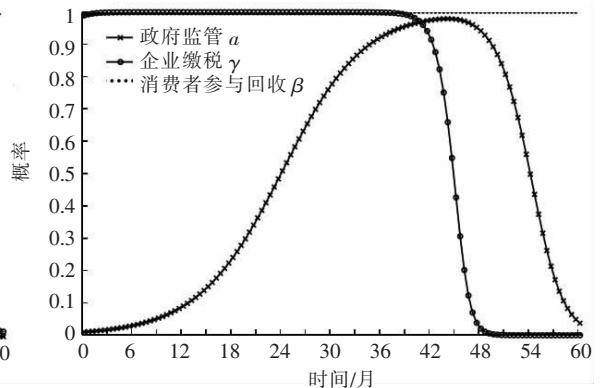


图6 初始策略组合为(0,1,1)时的行为演变

当企业最初选择生产责任延伸制模式,消费者选择不参与回收策略时(图3),具有可持续发展意识的消费者会逐渐参与回收废弃共享单车,企业经过短时间的初始策略适应后选择发生变化,即存在0.5的概率选择缴纳环保税模式,直到第36个月左右的时间,企业的策略逐渐稳定为生产责任延伸制,此处暂且将企业波动变化的原因归结为随着废弃单车回收转化技术水平的提升,转化效益的也随之增加,故企业选择回到初始策略生产责任延伸制模式;当企业最初选择缴纳环保税模式,消费者选择不参与回收策略时(图4),政府策略当即开始发生变化,即由不监管逐渐变为监管,企业在经过长时间的初始策略稳定期后,跟随政府变化由缴纳环保税策略改变为生产责任延伸制模式,同样地,直到第36个月左右的时间趋于稳定,而消费者策略变化轨迹与图3相同,即由于事先假设政府提供予的消费者补贴与企业提供的消费者补贴为同一个

值,故企业策略的变化对于消费者策略没有明显影响。

当企业最初选择生产责任延伸制模式,消费者选择参与回收策略时(图5),企业会在短时间内快速改变策略选择缴纳环保税,并在第36个月左右的时间又开始选择回到生产责任延伸制模式,与此同时,政府的策略出现短暂的监管波动,并最终稳定在不监管策略,消费者则一直处于初始策略参与回收状态;当企业最初选择缴纳环保税模式,消费者选择参与回收策略时(图6),政府逐渐开始趋向于监管企业,且当达到完全监管策略时,企业迅速改变策略选择生产责任延伸制,随后政府的策略由监管回归不监管策略,在此过程中,消费者一直处于参与回收状态,政府策略的选择对于消费者策略也没有明显影响。但是,分别对比图3与图5、图4与图6可以发现,消费者的初始策略明显影响企业的策略,当消费者初始选择参与回收时,企业更倾向于选择缴纳环保税模式即由政府负责处理废弃共享单车和提供消费者补贴,虽然企业的最终策略都稳定在了生产者延伸制模式,但是消费者的初始参与回收策略明显延缓了企业的策略选择转换。

推断 G1: 在政府初始监管意愿极低的情况下,三方主体的策略最终会在(0,0,1)(即政府不监管,企业生产责任延伸制,消费者参与回收)处达到均衡。在此过程中,无论企业和消费者初始策略与否,企业均会历经由缴纳环保税模式到生责任制延伸制模式的转变,政府则根据企业的变化由初始策略调整为监管策略并最终稳定在不监管状态,消费者在政府补贴或企业补贴的条件下会坚持选择参与回收。值得注意的是,消费者的初始参与回收策略会延缓企业生产责任延伸制策略的转换。

2. 监管的政府初始策略

情景 G2: 政府的初始策略为监管,即政府初始时有强烈的监管意愿 0.99。此情景下,政府、企业和消费者有(1,0,0)、(1,1,0)、(1,0,1)、(1,1,1)四种初始策略组合,对应三方主体的行为策略演变过程分别如图7~图10所示。

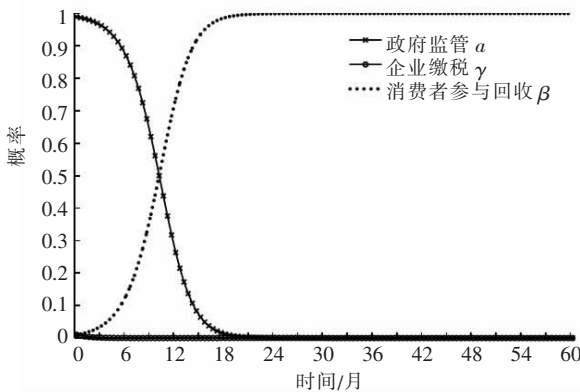


图7 初始策略组合为(1,0,0)时的行为演变

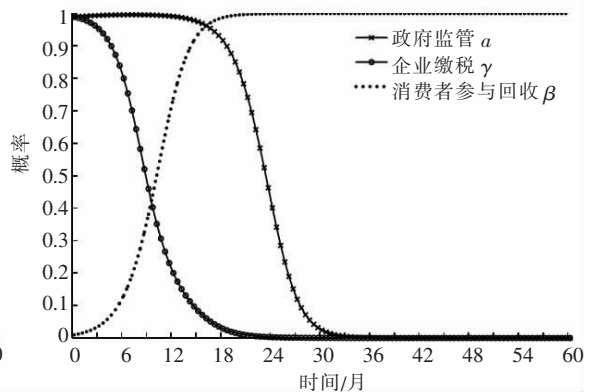


图8 初始策略组合为(1,1,0)时的行为演变

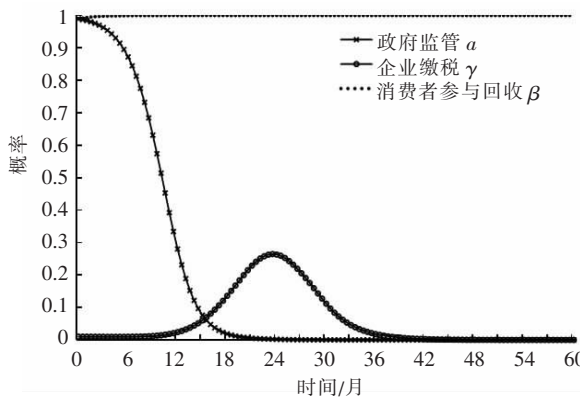


图9 初始策略组合为(1,0,1)时的行为演变

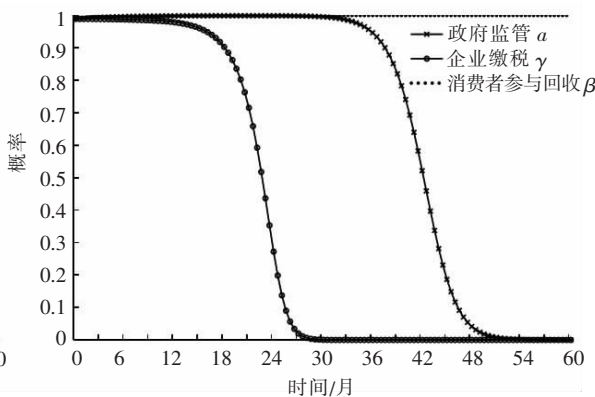


图10 初始策略组合为(1,1,1)时的行为演变

在政府初始策略为监管的情况下,企业和消费者的初始策略分别为生产者延伸制和不参与回收时(图7),由于企业一直处于初始策略状态,且没有改变现状的迹象,则政府策略由监管逐渐转变为不监管,消费者策略与图3和图4中同样的时间转变为参与回收废弃单车;若企业和消费者的策略分别为缴纳环保税模式和不参与回收时(图8),在政府的强力监管下,企业由初始状态开始改变策略,直至第24个月左右的

时间稳定在生产责任延伸制模式,在企业策略稳定后,政府也开始逐渐降低监管力度并最终停止监管,消费者依旧在同一时间内完成由不参与回收到参与回收的策略转变。

企业和消费者的初始策略分别为生产责任延伸制模式和参与回收时(图9),由于企业初始时处于生产责任延伸制稳定状态,政府开始放松监管直至停止,但此时企业策略逐渐开始向缴纳环保税模式转变,在第24个月左右的时间,又开始向初始策略返回,并最终稳定在生产责任延伸制模式,值得注意的是,在企业策略短暂波动期间,政府并没有重新监督,此处假定为政府和企业短时间内的信息不对称导致的反应滞后现象。消费者则由于初始策略为参与回收,在政府和企业的补贴下,全程策略未发生变化;当企业和消费者的初始策略分别为缴纳环保税和参与回收时(图10),两者在初始阶段均没有发生变化,但短时间过后企业开始逐渐向生产责任延伸制模式转变,同样,直至第24个月左右的时间策略趋于稳定,政府则是在企业策略稳定近一年后开始放松监管并最终停止,与图9类似,政府针对企业策略作出的反应总是存在一定的滞后性。

推断G2:在政府初始监管意愿较强的情况下,三方主体的策略同样会在(0,0,1)(即政府不监管,企业选择生产责任延伸制,消费者参与回收)处达到均衡。相比较于情景G1,情景G2(政府初始监管)下的企业会更早地选择生产责任延伸制,从而缩小到达演化均衡状态所需时间。当且仅当初始策略组合为(1,0,1)(即政府监管,企业生产责任延伸制,消费者不参与回收)时,三方达到稳定策略的时间最短。同样地,消费者在有或无政府监管状态下均会选择参与回收,政府总是在企业选择生产责任延伸制模式后暂停监管。值得注意的是,短时间的信息不对称使得政府针对企业策略作出的反应存在一定的滞后性。

五、外生变量对博弈策略的影响分析

为了研究不同外生变量对政府、企业和消费者策略选择的影响,以及对外生变量的赋值有效性进行检验校准,本文对外生变量的初始值(基准情景)设定为上下5%的比率累积波动,以模拟观察三方主体策略的变化趋势。考虑到不同策略组合的最终演化稳定策略一致,且结合目前废弃共享单车的处理现状,选取(0,1,0)即政府不监管、企业缴税和消费者不参与为三方的初始策略组合。同时选取环保税 T 、企业回收转化收益 I 、消费者补贴 S_1 三个重要的外生变量进行仿真分析,由于企业回收转化收益被设定为表函数,难以进行单方面的取值变化,故以企业回收处理成本 C_4 替代,即企业回收处理成本越低,回收转化收益越高。

在仿真情景设定方面,保持其他变量值稳定不变的情况下,使得所选三个外生变量的初始值分别以5%的比率上下波动。基于原始设定的模拟为基准情景, $T_1 \sim T_4$ 为环保变化情景, $C_{41} \sim C_{44}$ 为企业回收处理成本变化情景, $S_{11} \sim S_{14}$ 为消费者补贴变化情景。具体情景设定如表4所示。

(一)环保税变化对主体策略的影响

图11和图12分别表示环保税以5%的比率上下波动时政府和企业的策略演变,其中实线为基准情景。结合表4中的情景设定可知,环保税的提升会加快企业由缴税模式向生产责任延伸制模式的转变(即由政府负责回收到企业负责回收的转变),促使政府提前由不监管到监管、再到不监督策略的调整,进而缩短政府和企业到达稳定策略的周期。相反,环保税的降低则会使得企业更加依赖于通过缴税解决废弃共享单车回收问题,延缓企业回收转化机制的创建,同时导致政府因监管成本入不敷出而疲于监管。由于环保税变化对消费者策略没有明显影响,故此处不进行讨论。

表4 仿真情景设定

影响变量	情景	变量取值设定		
		环保税 T /(元/辆)	企业回收处理成本 C_4 /(元/辆)	消费者补贴 S_1 /(元/辆)
基准情景		1	3.6	0.6
环保税的影响	T_1	0.95	3.6	0.6
	T_2	1.05	3.6	0.6
	T_3	1.10	3.6	0.6
	T_4	1.15	3.6	0.6
企业回收转换 收益的影响	C_{41}	1	3.24	0.6
	C_{42}	1	3.42	0.6
	C_{43}	1	3.78	0.6
	C_{44}	1	3.96	0.6
消费者补贴的 影响	S_{11}	1	3.6	0.54
	S_{12}	1	3.6	0.57
	S_{13}	1	3.6	0.63
	S_{14}	1	3.6	0.66

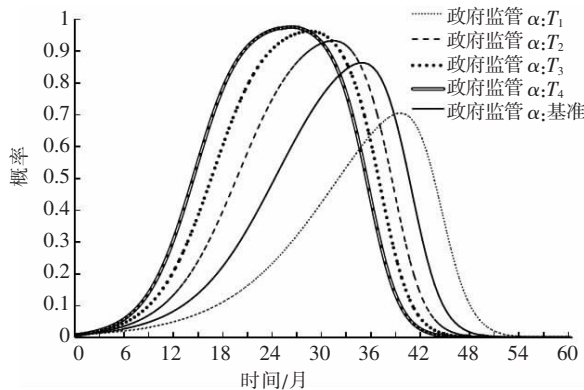


图 11 环保税变化对政府策略的影响

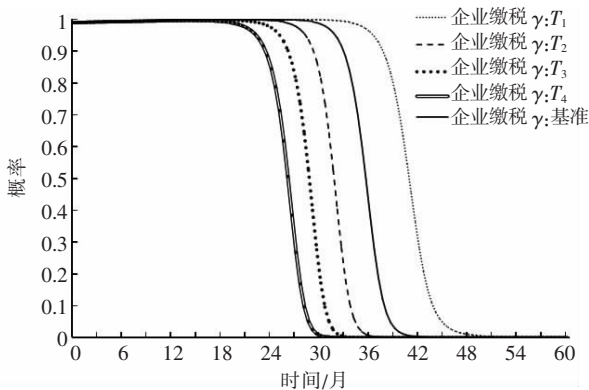


图 12 环保税变化对企业策略的影响

(二) 企业回收转化收益变化对主体策略的影响

图 13 和图 14 分别表示企业回收处理成本以 5% 的比率上下波动(也即企业回收转化收益变化)时政府和企业的策略演变,其中实线为基准情景。相比较于环保税,企业回收转化效益对政府和企业的策略影响类似,企业回收转化效益越高,即回收处理成本越低,企业越早选择生产责任延伸制模式,政府也越早暂停监管,同样对于消费者策略没有明显影响,此处不作讨论。不同之处是企业回收转化收益对政府和企业策略的影响更大,敏感性更强。

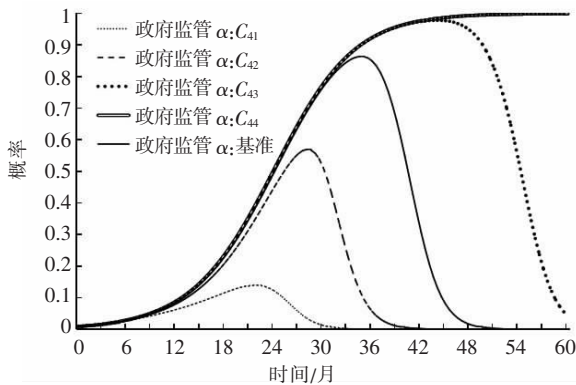


图 13 企业回收转换收益对政府策略的影响

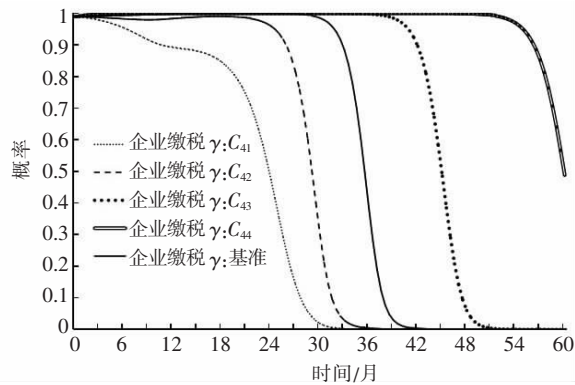


图 14 企业回收转换收益变化对企业策略的影响

(三) 消费者补贴变化对主体策略的影响

图 15 和图 16 分别表示消费者补贴以 5% 的比率上下波动时消费者和企业的策略演变,其中实线为基准情景。由于现实情况中消费者的补贴数额通常由政府设定,且其取值更是依据于对企业和消费者的实践意义,故此处仅讨论消费者补贴对企业和消费者策略变化的影响。结合表 4 的情景设定值可知,消费者补贴的增加会加快消费者由不参与回收向参与回收策略的演变;与此同时,消费者补贴越高,企业越晚选择生产责任延伸制模式,这也验证了上文中结论 G1 的推断——消费者的初始参与回收策略会延缓企业生产责任

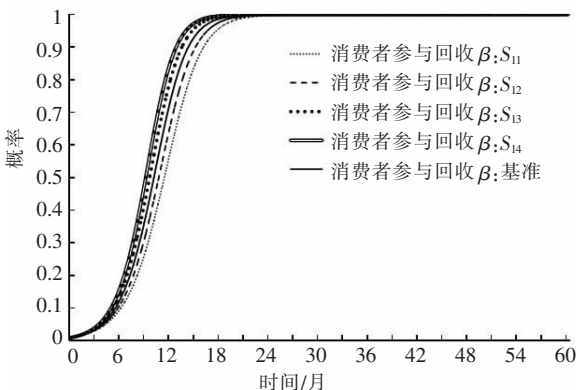


图 15 消费者补贴变化对消费者策略的影响

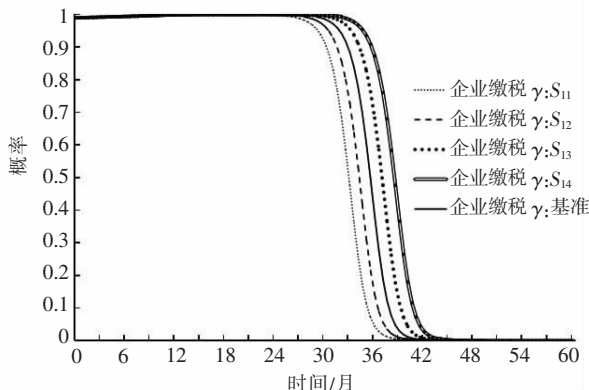


图 16 消费者补贴变化对企业策略的影响

延伸制策略的转换。消费者补贴变化对主体策略的敏感性较低,即影响一般。

六、结论与启示

调查研究废弃单车的回收治理策略对共享单车的可持续发展有重要的理论及现实意义。文章借鉴国内外电子电器废弃物的回收治理经验,基于征收环保税和实施生产责任延伸制两种模式构建政府、企业和消费者回收治理废弃共享单车的三方演化博弈模型,以实际调研数据和计算推理赋予外生变量初值,采用系统动力学方法进行模拟仿真与敏感性分析。文章的创新在于提出了生产责任延伸制和征收环保税两种废弃单车的回收治理办法,并基于演化博弈与系统动力学相结合的方法,对两种治理模式下政府、企业和消费者未来的行为策略进行了模拟仿真,进而得出三方主体的演化均衡策略与废弃共享单车回收治理的最优路径,并根据研究结论为政府和企业提供了政策建议与管理启示。

(一)研究结论

1.无论政府、企业和消费者在初始时为何种策略,三方最终均会在政府停止监管、企业选择生产责任延伸制、消费者参与回收时达到演化均衡。当政府的初始策略为监管,企业初始选择生产责任延伸制,消费者选择不参与回收时,三方到达稳定策略的所需时间最短。

2.企业回收转化收益对主体策略的敏感度>环保税对主体策略的敏感度>消费者补贴对主体策略的敏感度,即企业回收转化效益的改变对主体策略的影响最大。不同的是,企业回收转化收益与环保税的增加均会缩短到达演化稳定策略的周期,而消费者补贴的增加则会推迟企业和政府进入稳定策略的时间,尽管会使得更多的消费者参与到回收活动中。

3.在对筛选出的三个外生变量分别以5%幅度的连续上下波动时发现,政府、企业和消费者的策略演变路径相比基准情景也会产生波动,但总的演变轨迹依旧相同。说明当本文对外生变量的赋值与现实情况存在些许误差时,系统的演化均衡状态与演变轨迹是不变的,模拟的过程和结果能够有效刻画现实情况中废弃共享单车的多主体协同治理。

(二)管理启示

1.末端治理。目前中国废弃自行车的回收转化技术水平有待提高,转化效益甚低,企业难以主动选择生产责任延伸制模式。故现阶段政府应强制对共享单车实施生产责任延伸制度,加强对单车企业违规行为的监管,通过奖励和罚金的方式促进单车企业的主动回收,企业则应通过提供免费骑行次数或提高个人信用等多样化奖励方式鼓励更多的消费者参与;另一方面,增加第三方回收企业数量。由于目前专业回收废弃自行车的企业较少,且回收技术与速度有限,无法满足现有废弃单车的需求,考虑到中国目前电子电气废弃物回收行业发展初步完善,政府可鼓励相关企业参与废弃共享单车的回收。

2.源头预防。目前中国交通共享仍处于发展初期,且没有完成城市全覆盖,郊区和乡镇远没有铺开。故此时应在末端治理的同时解决新的源头预防问题。在单车企业进入新的城市地区时,政府应与其签订生产责任延伸制合约或实施环保税征收制度,同时严格控制单车企业的投放数量。单车企业则应加强停车点管理,提高车辆维修保养频率;与此同时,绿色生产,降低污染材料和稀缺材料的使用比例,通过产学研结合提升单车的耐用性及可循环性。

(三)研究不足与展望

在目前中国废弃共享单车亟需相关部门管理整治的情况下,本文研究结论与建议可为政府治理废弃共享单车提供政策参考,同时为单车企业未来的投放计划与战略布局提供管理启示。然而,由于某些方面的不可控因素,本研究仍存在局限之处。一方面,废弃共享单车的回收治理是一个典型的复杂系统,本文将政府、企业和消费者定义为特定市场中的三个群体,通过演化博弈研究多群体间的博弈问题缺乏一定的普适性;另一方面,尽管该研究的所有外生参数值都是根据实际情况所确定,但是诸多难以预测的的外部因素可能会导致时间转折点的预测产生误差。在后续的研究中,考虑建立生产责任延伸制模式下多方利益相关者协同治理的系统动力学模型,同样地,结合实际数据拟合变量方程,模拟废弃共享单车回收治理过程,为政府与企业的合作治理以及共享单车的可持续发展提供决策依据。

参考文献:

- [1] 国家信息化和产业发展部分享经济研究中心. 中国共享经济发展年度报告(2018)[EB/OL]. [2018-03-21]. <http://www.sic.gov.cn/News/568/8873.htm>.
- [2] 李丹婧. 共享单车,如何告别“垃圾山”? [J]. 资源再生, 2017(6):34-37.
- [3] 陈依佳,陈红敏. 共享单车真的绿色吗? 从全生命周期视角一探共享单车的资源环境影响[J]. 环境经济, 2018(16):60-63.
- [4] INO H. Extended producer responsibility in oligopoly[J]. Economics Bulletin, 2007, 17(6):1-9.
- [5] SHIH H S. Policy analysis on recycling fund management for e-waste in Taiwan under uncertainty [J]. Journal of Cleaner Production, 2017; 2(143):345-355.
- [6] WIESMETH H, HÄCKL D. How to successfully implement extended producer responsibility: considerations from an economic point of view[J]. Waste Management & Research, 2011, 29(9):891-901.
- [7] 国务院办公厅. 生产者责任延伸制度推行方案[EB/OL]. (2017-01-03)[2018-12-25]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/03/content_5156043.htm.
- [8] 中华人民共和国国家工商行政管理总局. 中华人民共和国环境保护税法[EB/OL]. (2017-12-28)[2018-01-01]. http://www.saic.gov.cn/xgbd/201712/t20171228_271466.html.
- [9] WANG X V, WANG L. Digital twin-based WEEE recycling, recovery and remanufacturing in the background of industry 4.0[J]. International Journal of Production Research, 2019, 57(12):3892-3902.
- [10] DEMAIO P. Bike sharing: history, impacts, models of provision, and future[J]. Journal of Public Transportation, 2009, 12(4):41-56.
- [11] SHAHEEN S, GUZMAN S, ZHANG H. Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010(2143):159-167.
- [12] FISHMAN E. Bikeshare: a review of recent literature[J]. Transport Reviews, 2016, 36(1):92-113.
- [13] WANG Y, SZETO W Y. Static green repositioning in bike sharing systems with broken bikes [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2018, 65:438-457.
- [14] FISHMAN E, WASHINGTON S, HAWORTH N. Barriers and facilitators to public bicycle scheme use: a qualitative approach[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2012, 15(6):686-698.
- [15] MATEO-BABIANO I, BEAN R, CORCORAN J, et al. How does our natural and built environment affect the use of bicycle sharing?[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2016, 94:295-307.
- [16] FAGHIH-IMANI A, HAMPSHIRE R, MARLA L, et al. An empirical analysis of bike sharing usage and rebalancing: evidence from Barcelona and Seville[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2017, 97:177-191.
- [17] PAL A, ZHANG Y. Free-floating bike sharing: solving real-life large-scale static rebalancing problems[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017, 80:92-116.
- [18] LI X, ZHANG Y, SUN L, et al. Free-floating bike sharing in Jiangsu: users' behaviors and influencing factors[J]. Energies, 2018, 11(7):1664.
- [19] SHEN Y, ZHANG X, ZHAO J. Understanding the usage of dockless bike sharing in Singapore[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2018, 12(9):686-700.
- [20] BULLOCK C, BRERETON F, BAILEY S. The economic contribution of public bike-share to the sustainability and efficient functioning of cities[J]. Sustainable Cities and Society, 2017, 28:76-87.
- [21] ZHANG Y, MI Z. Environmental benefits of bike sharing: a big data-based analysis[J]. Applied Energy, 2018, 220:296-301.
- [22] FULLER D, GAUVIN L, KESTENS Y, et al. The potential modal shift and health benefits of implementing a public bicycle share program in Montreal, Canada[J]. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2013, 10(1):66.
- [23] FULLER D, GAUVIN L, MORENCY P, et al. The impact of implementing a public bicycle share program on the likelihood of collisions and near misses in Montreal, Canada[J]. Preventive Medicine, 2013, 57(6):920-924.
- [24] KASPI M, RAVIV T, TZUR M. Bike-sharing systems: user dissatisfaction in the presence of unusable bicycles[J]. IISE Transactions, 2017, 49(2):144-158.
- [25] 施建刚, 司红运, 吴光东, 等. 可持续发展视角下城市交通共享产品使用行为意愿研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(6):63-72.
- [26] SHI J G, SI H Y, WU G D, et al. Critical factors to achieve dockless bike-sharing sustainability in China: a stakeholder-oriented network perspective[J]. Sustainability, 2018, 10(6):1-16.
- [27] 陈传红, 李雪燕. 市民共享单车使用意愿的影响因素研究[J]. 管理学报, 2018, 15(11):1601-1610.
- [28] 金晶, 卞思佳. 基于利益相关者视角的城市共享单车协同治理路径选择——以江苏省南京市为例[J]. 城市发展研究, 2018, 25(2):92-99.
- [29] 郭鹏, 林祥枝, 黄艺, 等. 共享单车: 互联网技术与公共服务中的协同治理[J]. 公共管理学报, 2017, 14(3):1-10, 154.
- [30] 王涵霄, 董明, 张大力. 考虑维修的共享单车调度优化研究[J]. 工业工程与管理, 2019, 24(2):31-37.
- [31] 徐国勋, 张伟亮, 李妍峰. 共享单车调配路线优化问题研究[J]. 工业工程与管理, 2019, 24(1):80-86.
- [32] ATKINSON A B, STERN N H. Pigou, taxation and public goods[J]. Review of Economic Studies, 1974, 41(1):119-128.

- [33] SIMS G, LIN H C. Competitive dominance of emission trading over Pigouvian taxation in a globalized economy[J]. *Economics Letters*, 2018, 163:158–161.
- [34] PARK J, DÍAZ-POSADA N, MEJÍA-DUGAND S. Challenges in implementing the extended producer responsibility in an emerging economy: the end-of-life tire management in Colombia[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 189:754–762.
- [35] ZHAO X, LI Y, XU F, et al. Sustainable collaborative marketing governance mechanism for remanufactured products with extended producer responsibility[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 166:1020–1030.
- [36] LETTA M, TOL R S J. Weather, climate and total factor productivity[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2018:1–23.
- [37] DAVIS G, WILT C, BARKENBUS J. Extended product responsibility: a tool for a sustainable economy[J]. *Environment Science & Policy for Sustainable Development*, 1997, 39(7):10–38.
- [38] PARAJULY K, WENZEL H. Potential for circular economy in household WEEE management[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 151:272–285.
- [39] GAMBERINI R, GEBENNINI E, GRASSI A, et al. An innovative model for WEEE recovery network management in accordance with the EU directives[J]. *International Journal of Environmental Technology & Management*, 2017, 8(4):348–368.
- [40] ZHOU W, ZHENG Y, HUANG W. Competitive advantage of qualified WEEE recyclers through EPR legislation [J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 257(2):641–655.
- [41] CHEN W, HU Z H. Using evolutionary game theory to study governments and manufacturers' behavioral strategies under various carbon taxes and subsidies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 201:123–141.
- [42] 彭本红, 谷晓芬, 武柏宇. 电子废弃物回收产业链多主体协同演化的仿真分析[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2016, 18(2):53–63.
- [43] TIAN Y, GOVINDAN K, ZHU Q. A system dynamics model based on evolutionary game theory for green supply chain management diffusion among Chinese manufacturers[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 80:96–105.
- [44] 彭本红, 谷晓芬, 鲁倩. 服务型制造项目治理中利益相关者演化博弈研究[J]. *系统仿真学报*, 2017, 29(3):595–608+617.
- [45] 宋金波, 宋丹荣, 付亚楠. 垃圾焚烧发电 BOT 项目收益的系统动力学模型[J]. *管理评论*, 2015, 27(3):67–74.
- [46] 约翰·D.斯特曼. 商务动态分析方法:对复杂世界的系统思考与建模:systems thinking and modeling for a complex world[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.
- [47] 申亮, 王玉燕. 公共服务外包中的协作机制研究:一个演化博弈分析[J]. *管理评论*, 2017, 29(3):219–230.
- [48] ZOETEMAN B C J, KRIKKE H R, VENSELAAR J. Handling WEEE waste flows: on the effectiveness of producer responsibility in a globalizing world[J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, 47(5–8):415–436.
- [49] LUDA M P, EURINGER N, MORATTI U, et al. WEEE recycling: pyrolysis of fire retardant model polymers[J]. *Waste Management*, 2005, 25(2):203–208.
- [50] 曹柬, 胡强, 吴晓波, 等. 基于 EPR 制度的政府与制造商激励契约设计[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(3):610–621.

The Evolution of Multi-agent Game in Recycling Governance of Waste Bike Sharing

SI Hongyun¹, SHI Jiangan¹, WU Guandong², WANG Huanming³

(1.School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2.School of Public Affairs, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. School of Public Administration and Law, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116024, China)

Abstract: With the launch of bike sharing in the major cities in China, the problem of recycling and conversion in the middle and lower reaches of the industrial chain has become a difficult problem to be addressed. This study aims to find out an appropriate governance path for increasingly waste shared-bicycles. The possible responses of stakeholders to the implementation of recycling scheme, such as environmental protection tax and extended producer responsibility, are investigated through evolutionary game theory. System dynamics approach is adopted to simulate the created game model. A case study of waste shared-bicycles in China is provided to demonstrate the application of the proposed model in which eight optional strategy profiles are examined. The results of the study show that the three parties will eventually reach the equilibrium state (the government stops supervision, the enterprise chooses the production responsibility extension model, and the consumers participate in the recovery); the exogenous variables (consumer subsidies, environmental protection tax and enterprise recovery conversion income) have significant impacts on the choice of subject strategy, and the sensitivity is increased in turn. The results of the study suggest that at this stage, the government needs to enforce the producer responsibility on bike sharing companies while strengthening supervision, so that it can bear the resources and environmental responsibility caused by the stage from product usage to waste recycling. Bike sharing companies should guide consumers to participate in recycling through diversified incentives such as providing free rides or increasing personal credit.

Key words: bike sharing; waste & recycle; co-governance; trilateral game; system dynamics